

doi: 10.3788/gzxb20124111.1377

超二代微光像增强器多碱光电阴极膜厚测量研究

李晓峰^{1,2}, 陆强², 李莉², 邱永生²

(1 微光夜视技术重点实验室, 西安 710065)

(2 北方夜视科技集团有限公司, 昆明 650114)

摘 要:介绍了多碱光电阴极的光学性能和光谱反射率特性, 测量了多碱阴极的光谱反射率曲线. 该曲线与普通光学膜层光谱反射率曲线相比, 形状较不规则, 原因是多碱阴极膜层存在光吸收. 光谱反射率曲线上的干涉峰是入射光在玻璃与阴极膜层界面反射和在阴极膜层与真空的界面反射的两束光发生干涉的结果. 根据干涉的原理, 如果阴极膜层所反射的两束光的光程差为二分之一波长的偶倍数时, 光谱反射将出现干涉加强峰; 如果阴极膜层所反射的两束光的光程差为二分之一波长的奇倍数时, 光谱反射将出现干涉减弱峰. 根据超二代像增强器光谱反射干涉峰对应的波长, 可以计算出其阴极膜层的厚度约为 191 nm, 比二代像增强器阴极膜层的厚度增加了 38%. 多碱阴极膜层厚度是影响多碱阴极灵敏度的一个关键参量, 仅仅靠人眼观察阴极膜层颜色的方法不准确. 实践证明, 利用光谱反射的方法来计算阴极膜层厚度的方法简单有效. 如果在多碱阴极的制作过程中进行光谱反射率的监控, 那么将可以精确控制阴极膜层的厚度, 对多碱阴极的研究将会更加深入, 多碱阴极的灵敏度也将会得到进一步的提升.

关键词:多碱阴极; 干涉; 反射; 折射率

中图分类号: O462.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)11-1377-6

0 引言

多碱光电阴极(简称多碱阴极)主要由 Na_2KSb 多晶半导体薄膜组成, 尽管其阴极灵敏度低于 GaAs 光电阴极, 但由于制造工艺简单、真空度要求低、可以在各种形状的玻璃表面上制作, 因此在光电管、光电倍增管、微光像增强器等真空光电器件中有广泛应用. 在微光夜视领域, 所有二代和超二代像增强器仍然使用多碱阴极. 根据光电发射理论, 光电发射的过程起始于阴极膜层吸收光子并激发电子跃迁, 之后电子从膜层中扩散到表面, 最后是电子克服表面势垒逸出. 对吸收过程而言, 要使光电阴极膜层有好的光吸收, 就要增加阴极膜层的厚度. 然而多碱阴极是一种多晶半导体薄膜, 电子在扩散过程中穿越晶粒界面时会存在能量损失, 因此电子的逸出深度与单晶半导体相比较短, 所以增加阴极膜层的厚度, 虽然提高了阴极膜层对入射光的吸收率, 特别是提高了对长波入射光的吸收率. 但另一方面由于短波的吸收深度短, 因此阴极膜层对短波光子的吸收距玻璃表面一端较近, 距真空逸出的一端较远, 因此增加膜层厚度就会降低短波光子的逸出几率, 从而

降低多碱阴极的短波灵敏度, 所以多碱阴极膜层厚度还影响光电阴极的扩散过程. 这样阴极膜层厚度就影响了光电发射过程中的两个过程, 一个是吸收过程, 另一个是扩散过程. 因此要在光电阴极膜层吸收过程和扩散过程之间进行折衷, 使厚度达到最佳, 阴极灵敏度达到最高. 转移式多碱阴极灵敏度提高的原因之一是膜层厚度在非转移阴极的基础上所有增加. 例如对二代像增强器, 光电阴极膜层的厚度是使阴极膜层的颜色为玫瑰红, 而对超二代像增强器, 采用转移阴极技术制造多碱阴极, 光电阴极膜层的厚度在二代像增强器的基础上有进一步的加厚. 对非转移式阴极技术制造的多碱阴极, 南京理工大学常本康教授、钱芸生教授等采用光学反射率监控和光谱响应监控的方法进行过充分地研究, 对提高多碱阴极的灵敏度起到了积极的理论指导作用, 取得了良好的效果^[1-3]. 但由于目前采用转移式阴极技术制作的多碱阴极膜层厚度有所增加, 而增加的值不能确定, 因此有必要对转移式多碱阴极的厚度测量问题进行研究.

基金项目:微光夜视技术国防科技重点实验室基金(No. J2011016)资助

第一作者:李晓峰(1963-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为真空光电器件. Email: lxf@nvt.com.cn

收稿日期: 2012-05-31; **修回日期:** 2012-01-28

1 多碱阴极的结构及光学特性

多碱阴极是一层薄膜,一般制作在玻璃窗上.另外多碱阴极必须保存在真空中,一旦暴露大气,会很快损坏,因此在超二代像增强器中,玻璃外表面的一端是大气,内表面一端是真空,Na₂KSb 阴极膜层就制作在玻璃窗内表面,结构如图 1 所示.垂直入射的入射光穿透玻璃并到达 Na₂KSb 阴极膜层,Na₂KSb 阴极膜层吸收光之后产生跃迁电子,跃迁电子扩散到膜层界面并逸出到真空产生光电流^[4].

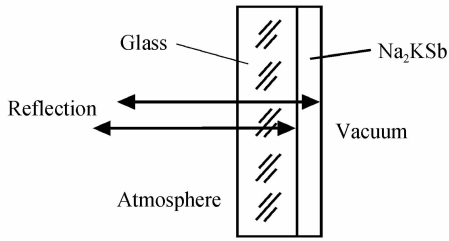


图 1 多碱光电阴极结构示意图
Fig. 1 Diagram of multi-alkali photocathode structure

当一束平面光波沿阴极膜层厚度的方向传播时,电场强度 E 具有以下形式

$$E = E_0 \exp \left[i\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \tag{1}$$

式中, v 为光波在膜层中的传播速度,它与复折射率有如下关系

$$v = \frac{c}{n_c} \tag{2}$$

式中, c 为光波在真空中的传播速度.多碱阴极膜层是一种半导体薄膜,其光学性质可由复折射率来描述.复折射率 n_c 的实部和虚部分别是折射率 n 和消光系数 k ,它们有如下关系

$$n_c = n + ik \tag{3}$$

将式(2)、式(3)代入式(1)得

$$E = E_0 \exp(-i\omega t) \exp\left(i\omega \frac{xn}{c}\right) \exp\left(-\omega \frac{xk}{c}\right) \tag{4}$$

式中的最后一项是一个衰减因子,所以光强在阴极膜层中是按指数形式衰减的.多碱阴极膜层的复介电常量 ϵ_c 定义为

$$\epsilon_c = n_c^2 \tag{5}$$

它是入射光频率的函数,其实部和虚部可以表示为

$$\epsilon_c(\nu) = \epsilon_1(\nu) + i\epsilon_2(\nu) \tag{6}$$

由式(3)、式(5)和式(6)可得

$$\epsilon_1(\nu) = n^2(\nu) - k^2(\nu) \tag{7}$$

$$\epsilon_2(\nu) = 2nk \tag{8}$$

由于介电常量 ϵ 和电导率 σ 之间的关系可表示为

$$n^2 - k^2 = \epsilon_1 \tag{9}$$

$$2nk = \frac{\sigma}{2\pi\nu\epsilon_0} \tag{10}$$

求解式(9)、式(10)得

$$n^2 = \frac{1}{2}\epsilon_1 \left\{ \left[1 + \left(\frac{\sigma}{2\pi\nu\epsilon_1\epsilon_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + 1 \right\} \tag{11}$$

$$k^2 = \frac{1}{2}\epsilon_2 \left\{ \left[1 + \left(\frac{\sigma}{2\pi\nu\epsilon_1\epsilon_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \tag{12}$$

又由于多碱阴极的 σ 不为零,因此由式(11)和式(12)知 n 和 k 都是频率的函数.多碱阴极 Na₂KSb 膜层的折射率 n 随波长的变化见图 2,图中可查出不同波长所对应的折射率^[5].

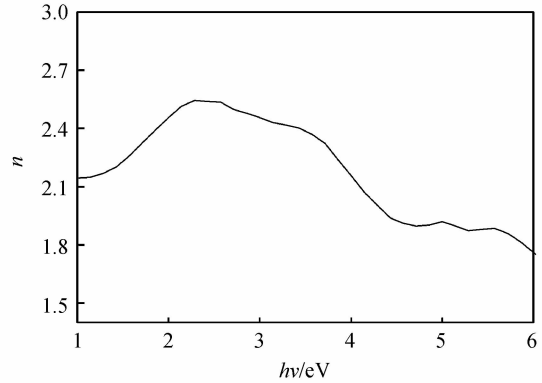


图 2 多碱光电阴极折射率
Fig. 2 Index of refraction of multi-alkali photocathode

当光线入射到多碱阴极膜层时,反射率表示为

$$R = \frac{(n-1)^2 - k^2}{(n+1)^2 + k^2} \tag{13}$$

由于 n 和 k 都是频率或波长的函数,因此 R 也是频率或波长的函数.对超二代像增强器多碱阴极的光谱反射率,可用 Lambda950 分光光度计进行测量,测量范围为 350~1 200 nm,环境温度为 22℃.图 3 是 0144# 样品实测的光谱反射曲线,该样品的阴极膜层采用典型的转移阴极技术制作.

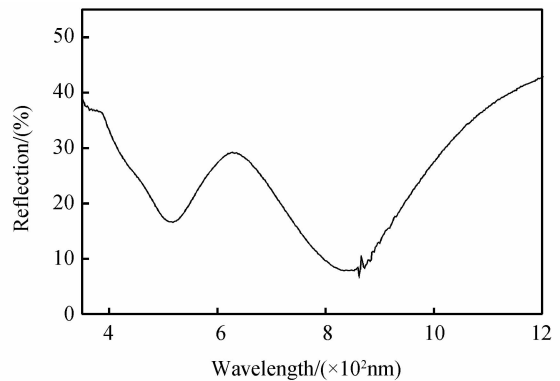


图 3 多碱阴极光谱反射率曲线
Fig. 3 Spectral reflection of multi alkali photocathode

从图 3 的光谱反射曲线看出,阴极膜层光谱反射率曲线与普通的光学膜层光谱反射率曲线相比,其不同级次的干涉峰强度不一样,且曲线较不规则.原因是阴极膜层是一种具有强吸收特性的半导体薄膜,同时对不同的波长存在不同的折射率和消光系数.由图 3 可看出,多碱阴极膜层对入射光的反射率

较高,在 350~900 nm 波长范围内,平均反射率为 21%,而在 900~1 200 nm 波长范围内,平均反射率高达 23%。在整个光谱反射曲线上可以看到两个明显且相邻的干涉减弱峰,一个短波峰,位于 510 nm,反射率为 16.5%,另一个长波峰,位于 840 nm,反射率为 7.8%。在两个干涉减弱峰之间,有一个干涉加强峰,位于 620 nm,反射率为 30%。

2 多碱阴极膜层厚度的测量

入射光在玻璃与阴极膜层的界面或阴极膜层与真空的界面反射时,除存在一次反射之外,还存在二次及以上的多次反射,图 1 仅表示出了膜层两端两个界面上的一次反射,二次以上的反射未表示出来。但对于反射光而言,主要是一次反射所包含的能量最高,所以在光谱反射曲线上存在的干涉峰主要是其所对应波长的入射光在玻璃与阴极膜层界面反射和在阴极膜层与真空界面反射的两束光发生干涉的结果。如果这两束反射光的相位差为 $\lambda/2$ 的奇倍数,那么将出现干涉减弱峰,如果为 $\lambda/2$ 的偶倍数,将出现干涉加强峰。考虑到入射光入射到玻璃与阴极膜层的界面反射时存在半波损失,因此这两束反射光发生干涉减弱时的相位差实际为 $\lambda/2$ 的偶倍数,或 λ 的整数倍。同理,这两束光发生干涉加强时的相位差实际为 $\lambda/2$ 的奇倍数。如果入射光为白光,那么当膜层厚度刚好使某一波长在玻璃与 Na_2KSb 膜层界面和 Na_2KSb 膜层与真空界面反射的两束光发生干涉减弱时,阴极膜层的光谱反射曲线上就会出现干涉减弱峰。所以在图 3 所示的光谱反射率曲线上,两相邻干涉减弱峰对应的波长应满足下列干涉方程

$$2n_1d = \lambda_1 \times N_1 \quad (14)$$

$$2n_2d = \lambda_2 \times N_2 \quad (15)$$

以上两式中, n_1 和 n_2 分别表示 Na_2KSb 膜层对应波长 λ_1 和 λ_2 折射率; λ_1 和 λ_2 分别表示长波和短波干涉减弱峰对应的波长; d 表示阴极膜层的厚度; N_1 和 N_2 表示相邻的两个整数,其中 $N_2 = N_1 + 1$ 。所以如果 N_1 可能的取值从 1 开始,那么 N_2 可能的取值应从 2 开始。由于不能事先确定 N_1 和 N_2 的数值,因此只能通过试算来确定。设 $N_1 = 1, N_2 = 2$, 对应波长 λ_1 的折射率为 2.2 (见图 2), 将其代入式 (14) 和式 (15), 求得 Na_2KSb 膜层的厚度 d 为 191 nm, n_2 为 2.67; 保持 $n_1 = 2.2$ 不变, 再分别假设 $N_1 = 2, N_2 = 3$ 以及 $N_1 = 3, N_2 = 4$, 分别再代入式 (14) 和式 (15), 分别求得 d 为 381 nm, n_2 为 2.0 以及 d 为 572 nm, n_2 为 1.8, 计算结果见表 1。

表 1 阴极膜层厚度的计算结果
Table 1 Calculated thickness of cathode film

n_1	N_1	N_2	n_2	d/nm
2.2	1	2	2.6	191
2.2	2	3	2.0	381
2.2	3	4	1.8	572

从表 1 可看出,利用 $N_1 = 1$ 和 $N_2 = 2$ 条件计算所得的折射率 n_2 为 2.6, 数据较为接近对应 λ_2 短波干涉减弱峰波长 510 nm 的理论折射率, 该折射率从图 2 中看出为 2.5。而 $N_1 = 2, N_2 = 3$ 以及 $N_1 = 3, N_2 = 4$ 的两种假设计算的折射率 n_2 分别为 2.0 和 1.8, 与 2.5 的理论折射率值相比偏差较大。另外根据铯钾交替次数来看,非转移阴极技术制造的 Na_2KSb 膜层的厚度较薄,而转移阴极技术制造的 Na_2KSb 膜层的厚度较厚,但增加的厚度也不会达到两倍以上,因此膜层厚度 d 为 381 nm 和 572 nm 的两种情况与实际不符,只有厚度为 191 nm 的情况较合理,即 $N_1 = 1$ 和 $N_2 = 2$ 的假设是合理的,而其它两种情况的假设不合理。所以图 3 中 0144 # 样品反射率曲线上看到的长波干涉减弱峰为第一级干涉减弱峰,而短波干涉减弱峰为第二级干涉减弱峰。由于在玻璃与阴极膜层的界面反射时存在半波损失,因此对于同级的一对干涉加强和减弱峰而言,干涉加强峰的波长应大于干涉减弱峰的波长,所以样品反射率曲线上对应 620 nm 的干涉加强峰与 510 nm 的短波干涉减弱峰为同一级干涉峰,级数为二级,这样图 3 中对应二级干涉加强峰的 620 nm 波长也应满足下列干涉方程

$$2nd = \lambda \times (N - \frac{1}{2}) \quad (16)$$

式 (16) 中, n 为多碱阴极膜层折射率, d 为多碱阴极膜层厚度, λ 表示加强峰的波长, N 为整数。将 $\lambda = 620 \text{ nm}, n = 2.46$ (见图 2) 以及 $N = 2$ 代入上式,求得 d 为 189 nm, 与表 1 中 $N_1 = 1$ 和 $N_2 = 2$ 的计算结果基本一致,说明阴极膜层的厚度既可以利用干涉减弱峰计算,也可以利用干涉加强峰计算,两种方法是等效的,因此可以认为利用光谱反射率测量阴极膜层厚度的方法是可行的。

图 4 是典型的一支二代像增强器的光谱反射率曲线。从图中可看出,其一级干涉减弱峰的位置在 667 nm, 而该波长的理论折射率 n 为 2.42 (见图 2), 根据式 (14) 求得阴极的膜厚为 138 nm, 这与利用光学法测得的 120 nm 厚度的结果相接近。根据测量结果,超二代像增强器多碱阴极 Na_2KSb 膜层的厚

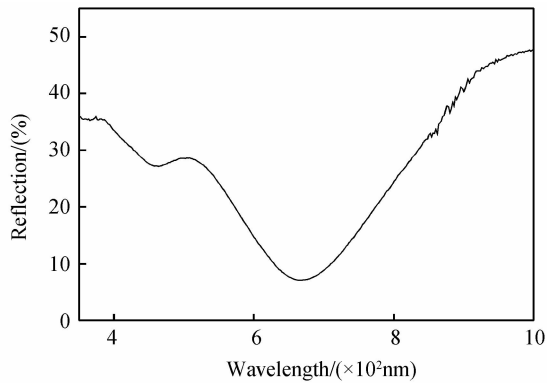


图4 多碱阴极光谱反射率曲线

Fig. 4 Spectral reflection of multi alkali photocathode

度约为 191 nm,比二代像增强器多碱阴极 Na_2KSb 膜层 138 nm 的厚度约增加了 38%。

在多碱阴极膜层的实际制作过程中,往往利用阴极膜层的颜色来判断阴极膜层的厚度,因此只能定性而不能定量.以往对多碱阴极膜厚的测量,采用测量光学反射率的方法.该方法需要测量出阴极膜层的前反射率、背反射率和透过率,然后解方程来求解阴极膜层的厚度.该方法较为精确,但需要利用计算机进行求解,因此比较复杂.而利用光谱反射率的方法计算多碱阴极膜层的厚度,只需要测量出阴极膜层的光谱反射率即可,虽然测量准确度低于光学反射率的方法,但方法简单,操作简便,便于在实际中应用.

3 讨论

由于阴极膜厚既影响阴极的光谱反射率,也响应阴极的光谱吸收率,因此也影响阴极的光谱响应.又由于厚膜层阴极比薄膜层阴极具有更高的光吸收能力,因此要增加阴极的灵敏度,就需要增加阴极膜层的厚度.然而,多碱阴极膜层是一种多晶半导体,电子的逸出深度较小,而膜层对于短波的吸收,主要集中在玻璃界面一端的膜层表层,距离电子逸出的真空界面较远,所以尽管加厚阴极可以同时增加短波和长波的吸收率,但由于电子的逸出深度有限,因此增加阴极膜层厚度虽然增加了阴极膜层的长波吸收率,导致长波阴极灵敏度有所增加,但同时也会导致短波光产生的电子不能逸出阴极表面,从而导致阴极的短波阴极灵敏度及在整个光谱响应范围内的积分灵敏度有所下降^[6].因此对转移阴极来讲,阴极的膜层厚度也存在一个最佳值.超过这一厚度,阴极灵敏度损失很大,往往下降几十微安/流明甚至上百微安/流明.

在微光像增强器的实际生产过程中,多碱阴极膜层的厚度主要靠铯-钾交替的次数来控制.当铯-钾交替的次数使阴极膜层的颜色达到淡红色,即认

为阴极的膜层厚度达到了最佳厚度.但由于阴极膜层的颜色是靠人眼来判断,控制准确度不高,因此会影响阴极的灵敏度.图5是两支超二代像增强器测得的光谱反射率曲线,两支像增强器的阴极颜色均为淡红色,但其光谱反射率却存在区别.对5601#样品,长波干涉减弱峰的波长为832 nm,理论折射率为2.23,根据计算,5601#样品的阴极膜厚为186 nm;而对5064#样品,长波干涉减弱峰的波长为792 nm,理论折射率为2.26,根据计算,5064#样品的阴极膜厚为175 nm.这充分说明阴极的膜厚仅仅依靠人眼来观察颜色进行判断的方法不够精确.因此要使多碱阴极膜层达到最佳厚度,需要在多碱阴极的制作过程中增加光谱反射率监控装置,这样才可能获得阴极膜层的最佳厚度,从而获得较高的阴极灵敏度.

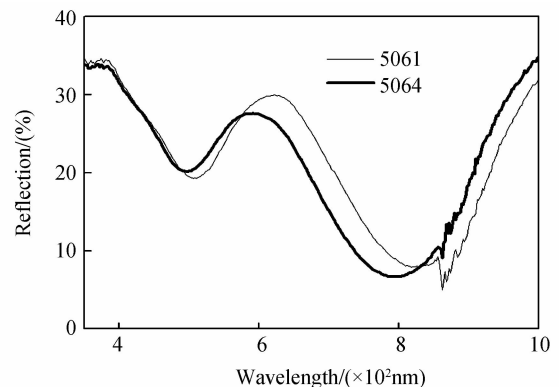


图5 多碱阴极光谱反射率曲线

Fig. 5 Spectral reflection of multi alkali photocathode

4 结论

1)多碱阴极膜层厚度是影响多碱阴极灵敏度的关键参量之一.无论是对二代像增强器,还是对超二代像增强器,多碱阴极膜层均存在达到一个最佳厚度的问题.在阴极制作过程中,往往通过控制铯-钾交替的次数,同时不断观察多碱阴极膜层的颜色变化来控制多碱阴极膜层的厚度.这种方法往往不够精确,因为人眼对颜色的观察存在一定的误差.因此对多碱阴极而言,仅仅依靠观察阴极膜层的颜色很难达到精确控制阴极膜层厚度的要求,所以阴极灵敏度往往达不到预想的结果.特别是当阴极膜层的厚度超过最佳厚度时,往往阴极灵敏度要损失几十微安/流明,所以在阴极的制作过程中应精确的控制阴极膜层的厚度.

2)对多碱阴极的反射光而言,尽管存在多次反射,但主要是一次反射所包含的能量最高,所以在光谱反射曲线上存在的干涉峰,主要是其所对应波长的入射光在玻璃与阴极膜层界面反射和在阴极膜层

与真空界面反射的两束光发生干涉的结果. 如果这两束反射光的相位差为 $\lambda/2$ 的奇倍数, 那么将出现干涉减弱峰, 如果为 $\lambda/2$ 的偶倍数, 将出现干涉加强峰. 如果入射光为白光, 那么当膜层厚度刚好使某一波长在玻璃与 Na_2KSb 膜层界面和 Na_2KSb 膜层与真空界面反射的两束光发生干涉加强时, 阴极膜层的光谱反射曲线上就会出现干涉加强峰. 所以在阴极膜层的光谱反射率曲线上, 相邻干涉峰对应的波长应满足一定的干涉方程, 而根据干涉方程和所测量的干涉峰对应的波长, 就可以计算出阴极膜层的厚度. 利用光谱反射率计算阴极膜层厚度的方法, 对典型的超二代像增强器样品进行了测试, 结果表明阴极膜层的厚度约为 191 nm, 比二代像增强器样品的阴极膜层厚度厚了约 38%.

3) 利用多碱阴极光谱反射曲线测量多碱阴极膜层厚度的方法与光学法相比, 尽管测量准确度较低, 只需要测量出多碱阴极的光谱反射率, 而不需要测量出多碱阴极的前反射率、背反射率和透过率, 因此方法简单易行.

4) 多碱阴极膜层与三代微光像增强器 GaAs 阴极膜层不同^[7-10], 必须存储在真空状态下, 因此对其进行分析测量的难度很大. 国内多碱阴极的研究采用了多信息量监控技术, 集成了光学监控和光谱响应监控两种手段, 对多碱阴极的制作过程进行实时的监控, 已经取得了良好的效果, 但如果能在已有的多信息量监控技术中再增加光谱反射率监控手段, 那么对多碱阴极的研究将会更加深入, 多碱阴极的灵敏度也将会得到进一步的提升.

参考文献

- [1] QIAN Yun-sheng, FU Ron-guo, CHANG Ben-kang, *et al.* Research on multi alkali photocathode multi-information testing technology [J]. *Vacuum Science and Technology*, 1999, **19**(2): 111-115.
钱芸生, 富容国, 常本康, 等. 多碱光电阴极多信息测试技术研究[J]. 真空科学与技术, 1999, **19**(2): 111-115.
- [2] CHANG Ben-kang, FANG Hong-bing, FU Ron-guo, *et al.* Spectral response online testing results and analysis of multi alkali photocathode [J]. *Vacuum Science and Technology*, 1998, **18**(2): 111-115.
常本康, 房红兵, 富容国, 等. 多碱光电阴极光谱响应在线测试结果与分析[J]. 真空科学与技术, 1998, **18**(2): 111-115.
- [3] ZOU Ji-Jun, CHANG Ben-kang, DU Xiao-qing, *et al.* Study on photocathode spectral response curve shape changes [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, **27**(8): 1465-1468.
邹继军, 常本康, 杜晓晴, 等. GaAs 光电阴极光谱响应曲线形状的变化[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, **27**(8): 1465-1468.
- [4] CHANG Ben-kang, FANG Hong-bing, LIU Yuan-zhen. Study and application on dynamic automatic spectrum testing system of photoelectric material [J]. *Vacuum Science and Technology*, 1996, **16**(5): 364-366.
常本康, 房红兵, 刘元震. 光电材料动态自动光谱测试仪的研究与应用[J]. 真空科学与技术, 1996, **16**(5): 364-366.
- [5] CHANG Ben-kang. Study on cathode control principle of optical information [J]. *Vacuum Science and Technology*, 1991, **14**(1): 41-46.
常本康. 多碱阴极光学信息监控原理研究[J]. 真空科学与技术, 1991, **14**(1): 41-46.
- [6] CHANG Ben-kang. Main difference research on three alkali photocathode S20 and LEP [J]. *Vacuum Science and Technology*, 1990, **10**(5): 326-330.
常本康. 三碱光电阴极 S20 与 LEP 主要差别的研究[J]. 真空科学与技术, 1990, **10**(5): 326-330.
- [7] DU YU-jie, DU Xiao-qing, CHANG Ben-kang, *et al.* Study on transmission-mode Ga99As photocathode spectral response characteristic in activation platform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(12): 1792-1794.
杜玉杰, 杜晓晴, 常本康, 等. 激活台内透射式 GaAs 光电阴极的光谱响应特性研究[J]. 光子学报, 2005, **34**(12): 1792-1794.
- [8] LIU Lei, CHANG Ben-kang. Spectral response characteristics numerical simulation of Super S25 and New S25 photocathode [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 613-616.
刘磊, 常本康. Super S25 与 New S25 光电阴极的光谱响应特性的数值模拟[J]. 光子学报, 2004, **33**(5): 613-616.
- [9] DU Xiao-qing, ZONG Zhi-yuan, CHANG Ben-kang. Spectral response measurement and analysis of GaAs photocathode stability [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(8): 939-941.
杜晓晴, 宗志园, 常本康. GaAs 光电阴极稳定性的光谱响应测试与分析[J]. 光子学报, 2004, **33**(8): 939-941.
- [10] XIA Zheng-rong, LI Rong-qing. Fluorescence enhancement of CdTe nanocrystals induced by Ag/TiO₂ core-shell nanoparticles [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 166-169.
夏峥嵘, 李荣青. 银/二氧化钛核壳纳米颗粒对碲化镉纳米晶的荧光增强研究[J]. 光子学报, 2012, **41**(2): 166-169.

Thickness Measurement of Multi-alkali Photocathode

LI Xiao-feng^{1,2}, LU Qiang², LI Li², QIU Yong-sheng²

(1 *Key Laboratory of Night Vision on Technology, Xi'an 710065, China*)

(2 *North Night Vision Technology Co., Ltd, Kunming 650114, China*)

Abstract: In this paper the optical properties and spectral reflectance characteristics of multi alkali photocathode were illustrated and spectral reflectance curve of multi alkali photocathode were measured. The shape of spectral reflectance curve is irregular compared with ordinary optical film. The reason is that the cathode layer absorbs light. Interference peak of spectral reflectance curve is the results that the reflection light on the interface between the glass and the cathode layer and the reflection light on the interface between the cathode layer and vacuum interference together. According to interference theory, if two beam light reflected by the cathode film have the optical path difference of even times the $\lambda/2$, interference enhancement peak on spectral reflection curve will appear. Similarly, if two beam light reflected by the cathode film have the optical path difference of odd times the $\lambda/2$, interference decreased peak on spectral reflection curve will appear. According to the interference theory and peak wavelength on spectral reflection interference curve the cathode film thickness of the super second generation image intensifier can be calculated out. The thickness is about 191nm, and increased by 38% compared with the second generation image intensifier. Determination of thickness simply by observing cathode film color was not an accurate method. Practice has proved that, the method to calculate the cathode film thickness by using spectral reflectance method is simple and effective. If the spectral reflectance were monitored during the process of cathode production, then the thickness of cathode layer would be able to control precisely, and the cathode study would be more in-depth, cathode sensitivity would be further improved.

Key words: Multi alkali photocathode; Interference; Reflection; Refraction